

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



P-0103.LT

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Off nlegungsschrift
⑩ DE 44 21 053 A 1

⑤1 Int. Cl. 6:
G 02 B 19/00
G 03 F 7/20

②1 Aktenzeichen: P 44 21 053.1
②2 Anmeldetag: 17. 6. 94
④3 Offenlegungstag: 21. 12. 95

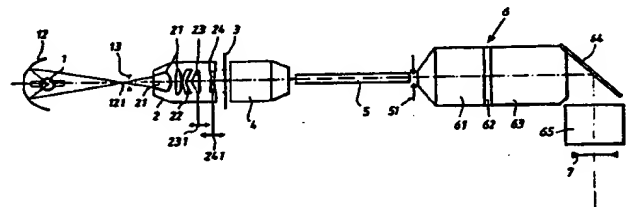
DE 44 21 053 A 1

⑦1 Anmelder:
Fa. Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE

⑦2 Erfinder:
Wangler, Johannes, 89551 Königsbronn, DE

⑤4 Beleuchtungseinrichtung

⑤7 Beleuchtungseinrichtung für ein optisches System, insbesondere eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, mit einem Zoom-Objektiv (2) zur Verstellung des Kohärenzgrads (sigma) und mit zwei darin angeordneten Axicons (22, 23) mit verstellbarem Abstand. Der Abstand kann bevorzugt auf Null reduziert werden. Damit wird stufenlos konventionelle Beleuchtung mit variablem Kohärenzgrad (sigma) und Ringfeld- oder Multipolbeleuchtung verschiedener Geometrie bereitgestellt, bei geringen Lichtverlusten.



DE 44 21 053 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen
BUNDESDRUCKEREI 10. 95 508 051/253

9/31

Beschreibung

Die Erfindung b trifft eine Beleuchtungseinrichtung für ein optisches System, insbesondere eine mikrolithographische Projektions-Beleuchtungsanlage mit zwei Axicons.

Aus W.N. Partlo et al., SPIE Vol. 1927, Optical/Laser Microlithography VI (1993), pp. 137—157 (Fig. 19, 20) ist eine gattungsgemäße Beleuchtungseinrichtung bekannt, bei der im kollimierten Strahlengang zwischen zwei Linsen im Bereich zwischen Lichtquelle und Lichtintegrator zwei Axicons angeordnet sind, eines konkav, eines konvex, mit ebenen zweiten Grenzflächen. Zur optimalen Ausleuchtung verschiedener Ringfeldblenden kann ihr Abstand von Null aus variiert werden, es kann also auch konventionelle Beleuchtung gemacht werden.

Aus EP 0 564 264 A1 ist es bekannt, zur Erzeugung einer Ringfeldbeleuchtung bei Wafer-Steppern eine konische Linse — ein Axicon — einzusetzen, bzw. zur Erzeugung einer Multipolbeleuchtung Pyramiden-Prismen (Fig. 7, 8). Auch die Anordnung von zwei Axicons ist dabei (Fig. 17, 19) bekannt, die zwei Axicons sind jedoch durch andere optische Elemente getrennt. Die konischen oder pyramidenförmigen Flächen sind beide konvex.

Die Brauchbarkeit auch konkav konischer Bauelemente in diesem Zusammenhang ist in JP 5/251 308 A offenbart.

EP 0 346 844 A1 zeigt die Verwendung von Paaren konvex konischer Linsen, deren Spitzen einander entgegengesetzt gerichtet sind, zur Beleuchtungs-Strahlaufspaltung für die Punktabbildung mit Überauflösung.

Aus US 5 208 629 ist für die Beleuchtung eines Wafer-Steppers die Verwendung von Pyramiden- oder Kegels-Axicon-Linsen, auch als konvex konkave Form, zur verlustarmen Bereitstellung einer symmetrischen schiefen Beleuchtung (Multipolbeleuchtung) bekannt. Eine Zoom-Funktion ist nicht damit verbunden.

Zoomsysteme zur Variation des Kohärenzgrades werden in Beleuchtungssystemen für Waferstepper mit Wabenkondensoren der Firma ASM-L aus den Niederlanden seit 1987 eingesetzt.

Aus US 5 237 367 ist die Verwendung eines Zoom in der Beleuchtungseinrichtung eines Wafer-Steppers zur verlustfreien Einstellung des Kohärenzgrads σ bekannt, und zwar bei konventioneller Beleuchtung.

Aus US 5 245 384 ist ein afokales Zoomsystem für die Beleuchtung bei Wafer-Steppern bekannt, mit dem der Kohärenzfaktor σ verlustarm angepaßt werden kann. Ein Axicon ist nicht vorgesehen.

EP 0 297 161 A1 gibt für eine Projektions-Beleuchtungsanlage mit Lichtleiter-Glasstab im Beleuchtungs-Strahlengang an, daß nach dem Glasstab ein Verlaufsfilter angebracht werden kann. Dies dient offenbar der weiteren Homogenisierung, nicht der Abblendung.

Die immer weiter fortschreitende Annäherung an die Auflösungs-Grenzen der optischen Projektion für die lithographische Mikrostrukturierung bringt das Erfordernis mit sich, daß die Beleuchtung entsprechend den Strukturen der einzelnen Vorlagen optimiert werden muß, das heißt, optimierte Ringfeld- oder Quadrupol-Beleuchtung und andere müssen eingestellt werden können.

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, eine besonders flexibel veränderbare Beleuchtungseinrichtung anzugeben, die durch Verstellen von Elementen, ohne Austausch, und mit möglichst hohem Wirkungsgrad, eine Vielzahl von Beleuchtungsmodi ermöglicht.

Gelöst wird die Aufgabe durch eine gattungsgemäße Beleuchtungseinrichtung, bei der die zwei Axicons in einem Zoom-Objektiv integriert sind und ihr Abstand verstellbar ist.

Die so erreichte Flexibilität bei der Gestaltung des Lichtbündel-Querschnitts wird durch die Ausführung der Axicons mit gleichem Spitzenwinkel und die mögliche Reduzierung des Abstands der beiden Axicons bis zur Berührung gemäß den Unteransprüchen 2 und 3 optimiert. Insbesondere kann dann der Grenzfall der konventionellen Beleuchtung dargestellt werden.

Sind die Axicons konisch, so eignet sich die Anordnung besonders für Ringfeldbeleuchtung. Mit pyramidenförmigen Axicons wird dagegen eine Multipol-Beleuchtung optimiert.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn nach den Ansprüchen 6 und 7 die zweiten Grenzflächen der Axicons eine Linsenwirkung haben und so das Zoom-Objektiv kompakter und einfacher im Aufbau wird.

Anspruch 8 beschreibt den besonderen Vorteil der erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung, daß nämlich konventionelle, Ringfeld- oder Multipolbeleuchtung sehr variabel einstellbar sind.

Vorteilhaft in der erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung integriert wird nach Anspruch 8 und 9 ein Glasstab als Lichtintegrator, an dessen Austritt ein Maskierungssystem angeordnet ist. Ein Reticle-Maskierungssystem direkt am Reticle, das besonders wenn es verstellbar sein soll dort problematisch ist, oder ein eigenes Zwischenabbildungs-System für ein Reticle-Maskierungssystem werden damit eingespart und der Bauaufwand wird bei gleichzeitig hoher Qualität vermindert.

Die Anordnung des üblichen Verschlusses außerhalb des Fokus des Lampenspiegels ist eine generelle Zusatzmaßnahme zur Verbesserung der Homogenität der Beleuchtung, welche sich in Kombination mit den übrigen Merkmalen der Erfindung besonders bewährt.

Es wird mit der beschriebenen Beleuchtungseinrichtung möglich, die verschiedenen obengenannten Beleuchtungsarten einzustellen, ganz ohne Blenden zur Formung des Lichtbündels nach dem Lichtintegrator, die für verschiedene Beleuchtungsarten verstellbar oder wechselbar sein müßten. Die gesamte Formung geschieht durch Verstellen des Zoom-Axicon-Objektivs, was optimal dafür geeignet ist, um von einem Computer programmgesteuert zu erfolgen. Die hierbei erreichte Qualität der einzelnen Beleuchtungsmodi kann durch vermehrten Aufwand für die Zoom/Axicon-Baugruppe noch signifikant gesteigert werden.

Feste Blenden zur Unterdrückung von Streulicht und ähnlichem sind natürlich an jeder vorteilhaften Stelle im Strahlengang möglich.

Näher erläutert wird die Erfindung anhand der Zeichnung.

Es zeigen:

Fig. 1 die schematische Darstellung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Be-

leuchtungseinrichtung;

Fig. 2a eine Ausführung des in Fig. 1 enthaltenen Zoom-Axicon-Objektivs als Linsenschnitt bei auf Abstand Null zusammengerückten Axicons;

Fig. 2b das selbe wie Fig. 2a, j doch mit getrennten Axicons;

Fig. 3 den Intensitätsverlauf als Funktion des Radius in der Pupillenzwischenebene für verschiedene Zoom- und Axicon-Positionen der Anordnung nach Fig. 2a und 2b;

Fig. 4a ein anderes Ausführungsbeispiel schematisch;

Fig. 4b ein anderes Ausführungsbeispiel schematisch;

Fig. 4c ein anderes Ausführungsbeispiel schematisch;

Fig. 4d ein anderes Ausführungsbeispiel schematisch.

Fig. 1 zeigt ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung für die Projektions-Lithographie bei Auflösungen bis zu Bruchteilen von $1\text{ }\mu\text{m}$, z. B. für die Herstellung integrierter Schaltkreise.

Eine Lampe (1), eine Quecksilber-Kurzbogenlampe für die i-Linie von 365 nm Wellenlänge, ist im einen Brennpunkt eines elliptischen Spiegels (12) angeordnet, der das emittierte Licht im zweiten Brennpunkt (121) sammelt.

Abweichend von der Regel ist der Verschuß (13) außerhalb des Brennpunktes (121) angeordnet, und zwar ist der Abstand zum Scheitel des elliptischen Spiegels (12) etwa 5% bis 20%, vorzugsweise 10%, größer als der Abstand des Brennpunktes (121) zum Scheitel. Dadurch wird erreicht, daß die hier gebildete sekundäre Lichtquelle homogener wird und die partiell kohärente Wirkung der Beleuchtung auf die optische Abbildung verbessert wird. Ein extra Misch-System zu diesem Zweck kann damit eingespart werden. Diese Maßnahme ist auch bei einer sonst konventionellen Beleuchtungseinrichtung sinnvoll.

Das folgende Objektiv (2) besteht aus einer ersten Linsengruppe (21), dem konkaven ersten Axicon (22), dem konvexen zweiten Axicon (23) und einer zweiten Linsengruppe (24). Stellmittel (231) und (241) erlauben die axiale Verschiebung eines Axicons (23) und eines Elements der zweiten Linsengruppe (24). Damit kann sowohl der Abstand der Axicons (22, 23) untereinander verstellt werden und somit der Ringfeldcharakter verändert werden, als auch eine Zoom-Wirkung zur Veränderung des ausgeleuchteten Pupillendurchmessers, also des Kohärenzgrads (σ), erreicht werden.

Nach der Pupillenzwischenebene (3) folgt ein zweites Objektiv (4), mit dem das Licht in den Glasstab (5) von ca. 0,5 m Länge eingekoppelt wird. Der Ausgang des Glasstabs (5) ist eine Zwischenfeldebene, in der ein Maskierungssystem (51) angeordnet ist, das anstelle konventioneller REMA- (reticle masking) Systeme eingesetzt wird. Die sonst übliche Schaffung einer zusätzlichen Zwischenfeldebene für das REMA-System mit aufwendigen Linsengruppen wird eingespart.

Das folgende Objektiv (6) bildet die Zwischenfeldebene mit dem Maskierungssystem (51) auf das Reticle (7) (Maske, Lithographievorlage) ab und enthält eine erste Linsengruppe (61), eine Pupillen-Zwischenebene (62), in die Filter oder Blenden eingebracht werden können, zweite und dritte Linsengruppen (63 und 65) und dazwischen einen Umlenkspiegel (64), der es ermöglicht, die große Beleuchtungseinrichtung (ca. 3 m Länge) horizontal einzubauen und dabei das Reticle (7) waagrecht zu lagern.

Der für alle Ausführungsformen gemeinsame Teil der Beleuchtungseinrichtung ist das Objektiv (2), welches in der Fig. 2a für ein Ausführungsbeispiel dargestellt ist. In der Tabelle 1 sind dafür die Linsendaten angegeben.

Die erste Linsengruppe (21) enthält zwei Linsen mit den Flächen (211, 212, 215, 216) und zwei Planplatten mit den Flächen (213, 214 und 217, 218), welche als Filter ausgebildet werden können.

Die beiden Axicons (22 und 23) haben gleiche Kegelwinkel α und können daher wie in dieser Fig. 2a dargestellt, bis auf Berührung zusammengeschoben werden. Die Axicons (22, 23) haben in dieser Stellung keine Wirkung der Kegelflächen (222, 231) und bilden zusammen eine einfache Linse, da ihre zweiten Grenzflächen (221, 232) gekrümmt sind. Diese Linse ist von Bedeutung für die Korrektur des Objektivs 2, der Strahlengang an dem Axicon (22, 23) ist nicht kollimiert. Die Linse (24) ist axial verschieblich und macht die Anordnung zu einem Zoom-Objektiv konventioneller Bauart. Damit kann konventionelle Beleuchtung mit veränderlichem Pupillendurchmesser in der Pupillenebene (3), also mit veränderlichem Kohärenzfaktor σ vorzugsweise im Bereich 0,3 bis 0,8 dargestellt werden. Aber natürlich ist vorgesehen, die beiden Axicons (22, 23) mit dem Stellmittel (231) auf einen gewünschten Abstand auseinanderzufahren.

Ein solcher Fall ist in Fig. 2b dargestellt, die ansonsten völlig Fig. 2a entspricht.

Die zweite Linsengruppe (24) ist als eine einzelne bikonkave Linse mit den Flächen (241 und 242) ausgebildet. Die Fokusebene (121) der Lichtquelle (1, 12) und die Pupillenebene (3) sind in den Fig. 2a, 2b ebenfalls dargestellt.

Fig. 3 zeigt den Intensitätsverlauf (I) des Lichts als Funktion von r/r_0 in der Pupillenebene (3) für verschiedene Stellungen des Axicons (23) und der Linse (24). Die Kurve A gilt für die Stellung gemäß Fig. 2a, die Kurve B gilt für eine Stellung, bei der ausgehend von Fig. 2a die Linse (24) weitgehend an das Axicon (23) gerückt ist. Die Kurve C gilt für die von den Axicons (22, 23) geprägte Stellung der Fig. 2b. Die Distanz d_{23} (222—231) — also der Abstand der Axicons (22, 23) — bestimmt dabei die verstärkte Ausprägung der Ringfeldbeleuchtung mit zentraler dunkler Scheibe. Letztere wächst mit zunehmender Distanz. Die Distanz d_{24} (242-3) bestimmt die Zoom-Wirkung, also den Gesamt-Durchmesser des Beleuchtungsflecks in der Pupillenebene (3). Die Ringfeldbeleuchtung hat einen hohen Wirkungsgrad, da sie ohne Ausblenden der mittleren Scheibe erzeugt wird. Ein (kleiner) dunkler Fleck auf der Achse bleibt auch bei ganz vereinigten Axicons (22, 23) gewöhnlich wegen der Bauform der Lampe (1) und des Hohlspiegels (12). Das ist zugleich bewußt gewollt und schafft Raum für die Unterbringung von Hilfssystemen, zum Beispiel für Fokussier- und Positioniersysteme.

Zu einer Multipol-Beleuchtung (symmetrische schiefe Beleuchtung) gelangt man, wenn in die Pupillenebene (3) oder eine dazu äquivalente Ebene der Beleuchtungseinrichtung eine Mehrloch-Blende eingefügt wird, die aus dem Ringfeld z. B. nur vier Bündel durchläßt.

Besondere Beleuchtungsgometrien lassen sich auch durch abweichende Formgebung der Axicons (22, 23),

welche z. B. Quadrupolbeleuchtung pyramidenförmig mit quadratischer Grundfläche sein können, erzielen und unterstützen.

Weitere Varianten von erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtungen werden in den Fig. 4a bis 4d dargestellt. Gleiche Teile haben dabei gleiche Bezugszeichen wie in Fig. 1.

Fig. 4a zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem der Glasstab (5) der Fig. 1 durch einen Wabenkondensor (50) ersetzt ist. Dies ist eine Alternative, die u. a. die Baulänge verringert. Allerdings entfällt hierbei die Option auf das oben beschriebene REMA-System. Das Objektiv (6) besteht aus den zwei Linsengruppen (66) und (65) mit zwischengeschaltetem Umlenkspiegel (64) (schematische Darstellung auf durchgehende optische Achse bezogen).

Fig. 4b zeigt gegenüber Fig. 4a einen zusätzlichen Glasstab (15) in der Art des Glasstabs (5) von Fig. 1, angeordnet zwischen dem Verschuß (13) und dem Zoom-Axicon-Objektiv (2). Damit kann die Ausleuchtung der Pupillenebene auf dem Wabenkondensor (50) noch weiter homogenisiert werden. Das Zoom-Axicon-Objektiv (2) hat hier mehr Linsen und ist entsprechend länger.

Fig. 4c zeigt eine Anordnung gemäß Fig. 1, jedoch mit dem zusätzlichen Glasstab (15) und dem längeren Zoom-Axicon (2) der Fig. 4b.

Fig. 4d zeigt eine Variante der erfindungsgemäßen Beleuchtungseinrichtung, bei der als Lichtquelle ein Laserstrahl (10) dient. Dies ist vorzugsweise ein Excimer-Laserstrahl mit einer Wellenlänge im tiefen UV-Bereich. Dabei ist die Form des Laserstrahls (10) typischerweise ein schmales Rechteck. Mit einer Strahlformungseinrichtung (14), z. B. nach DE 41 24 311 A1, wird der Laserstrahl (10) günstiger, typischerweise quadratisch, geformt und zugleich in der Kohärenz reduziert. Nach dem Verschuß (13) folgt ein modifiziertes Zoom-Axicon-Objektiv (2'), das hier als Strahlaufweitungs-Teleskop ausgebildet ist. Nach einer Streuscheibe oder einem Beugungselement (8) als weiter die Kohärenz reduzierender sekundärer Lichtquelle folgt, entsprechend angepaßt, wie in Fig. 4a und 4b der Wabenkondensor (50) und das Objektiv (6) bis zum Reticle (7). Natürlich kann auch mit der Laserlichtquelle ein Glasstab entsprechend den Fig. 1 und 4c vorgesehen werden.

Die vorgestellten Varianten sind nur eine Auswahl typischer Beispiele. Auch ist die Anwendung der Erfindung nicht auf die Projektions-Mikrolithographie beschränkt. In einfacherer Ausführung eignet sie sich z. B. auch als variable Mikroskop-Beleuchtung oder als Beleuchtung für Apparate zur Mustererkennung.

Tabelle 1

Nr.	Radius	Dicke	Glasname
13	plan	10,20	
211	-199,5	87,40	Quarz
212	-92,4	45,20	
213	plan	4,35	
214	plan	46,54	
215	393,8	29,00	FK5
216	-302,9	2,15	
217	plan	5,00	FK5
218	plan	2,15	
221	135,3	8,00	FK5
222	Kegel	0,00,	variabel
231	Kegel	42,00	FK5
232	739,1	26,53	
241	-183,0	9,40	FK5
242	170,3	26,38,	variabel
3	plan		

Kegelwinkel α : 63 Grad für 222 und 231

Patentansprüche

1. Beleuchtungseinrichtung für ein optisches System, insbesondere eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage, mit zwei Axicons (22, 23), dadurch gekennzeichnet, daß ein Zoom-Objektiv (2) zur Verstellung des Kohärenzgrads (σ) vorgesehen ist und die zwei Axicons (22, 23) in diesem Zoom-Objektiv (2) angeordnet sind und ihr Abstand (d23) verstellbar ist.
2. Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Axicons (22, 23) soweit fertigungstechnisch machbar und funktionell wirksam gleichen Spitzenwinkel (α) haben.
3. Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand (d23) der beiden Axicons (22, 23) bis zur Berührung r reduziert werden kann.
4. Beleuchtungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1–3, dadurch gekennzeichnet, daß die

Axicons (22, 23) konisch sind.

5. Beleuchtungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1—3, dadurch gekennzeichnet, daß die Axicons (22, 23) pyramidenförmig sind.

6. Beleuchtungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1—5, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Axicon (22, 23) als zweite Grenzfläche (221, 232) eine gekrümmte Fläche hat.

7. Beleuchtungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1—6, dadurch gekennzeichnet, daß die Axicons (22, 23) nicht in einem kollimierten Strahl angeordnet sind.

8. Beleuchtungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1—7, dadurch gekennzeichnet, daß durch Verstellen des Abstands (d23) der beiden Axicons (22, 23) bzw. der Position mindestens eines Zoom-Linsenglieds (24) stufenlos sowohl konventionelle Beleuchtung als auch Ringfeld- oder Multipolbeleuchtung verschiedener Geometrie eingestellt werden können.

9. Beleuchtungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1—8, dadurch gekennzeichnet, daß sie einen Glasstab (5) als Lichtintegrator enthält.

10. Beleuchtungseinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß am Austritt des Glasstabs (5) ein Maskierungssystem (51) angeordnet ist.

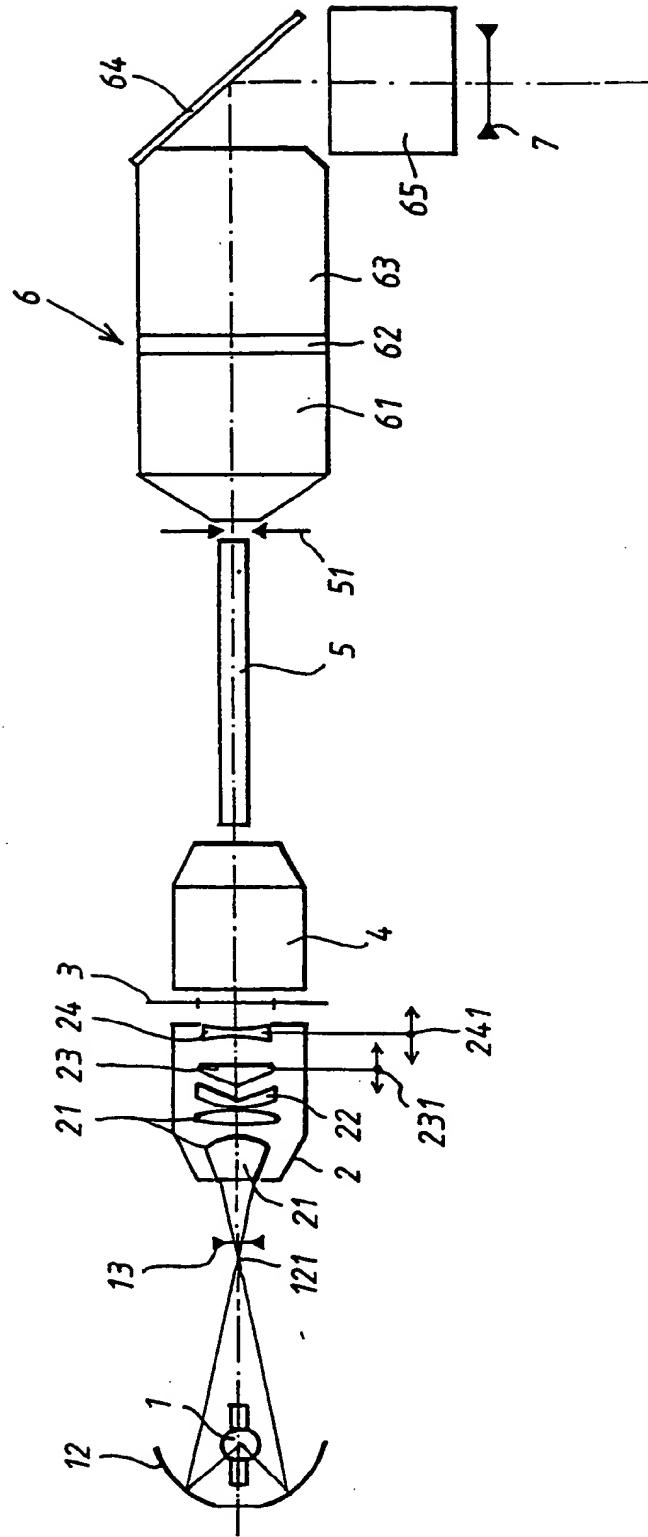
11. Beleuchtungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1—10, dadurch gekennzeichnet, daß eine eine sekundäre Lichtquelle bildende Blende (13) außerhalb des Fokus (121) eines Lampenspiegels (12) angeordnet ist.

12. Beleuchtungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1—11, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Lichtintegrator (5) keine Blenden zur Formung des Lichtbündels angeordnet sind.

13. Beleuchtungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1—12, enthaltend Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung programmgesteuert über einen Computer erfolgt.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1



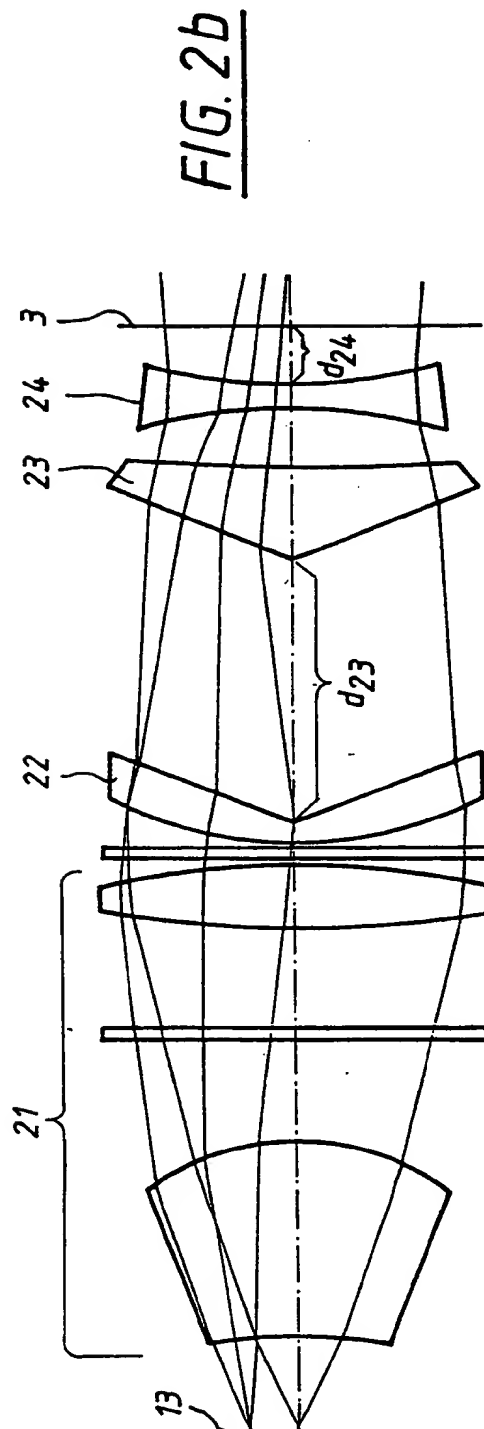
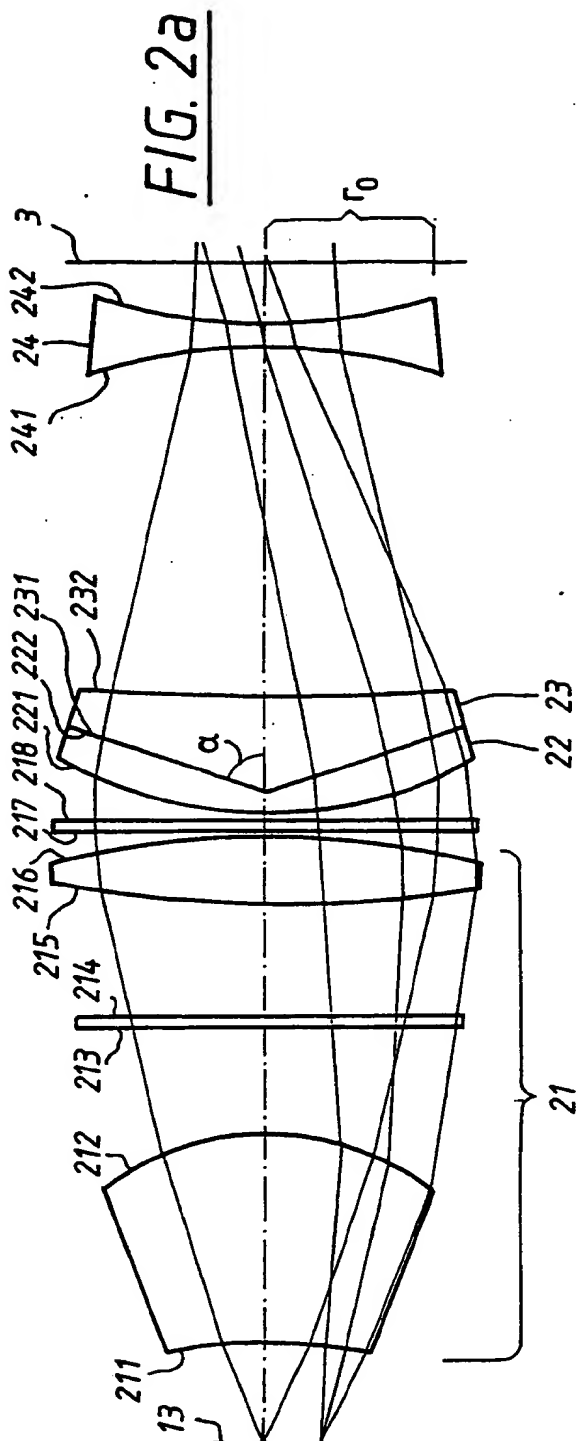


FIG. 3

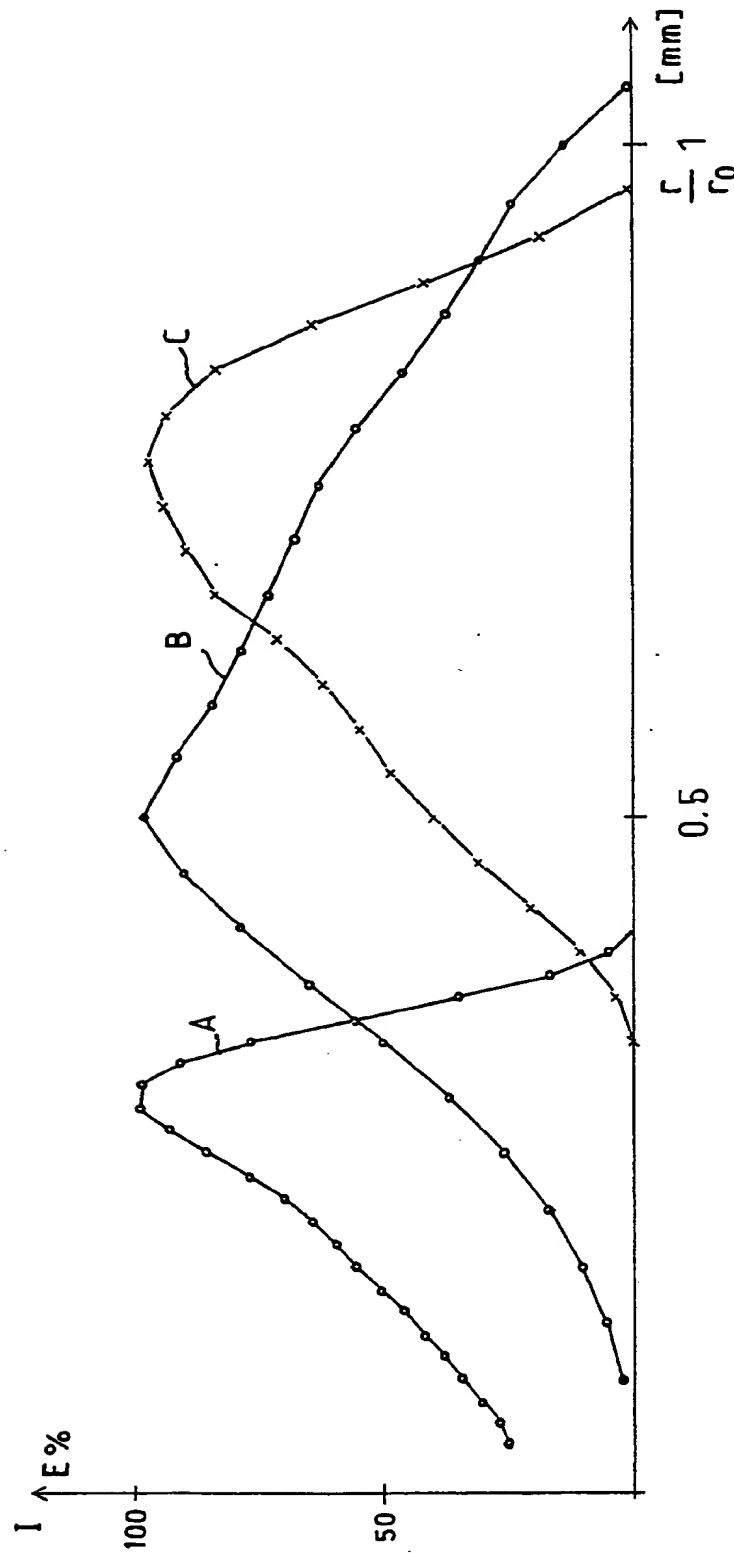


FIG. 4a

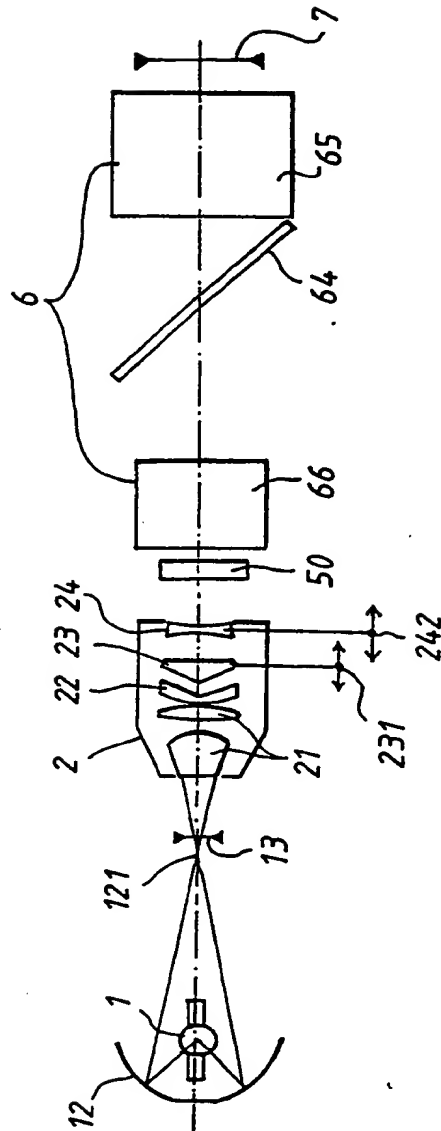


FIG. 4b

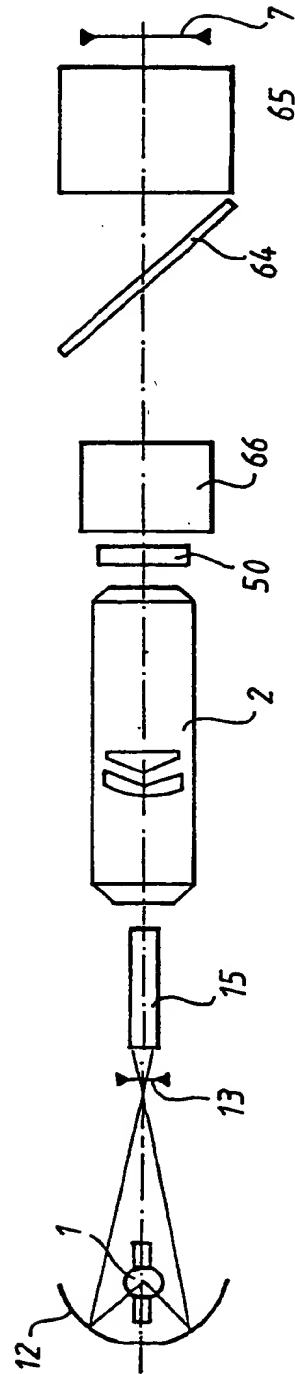


FIG. 4c

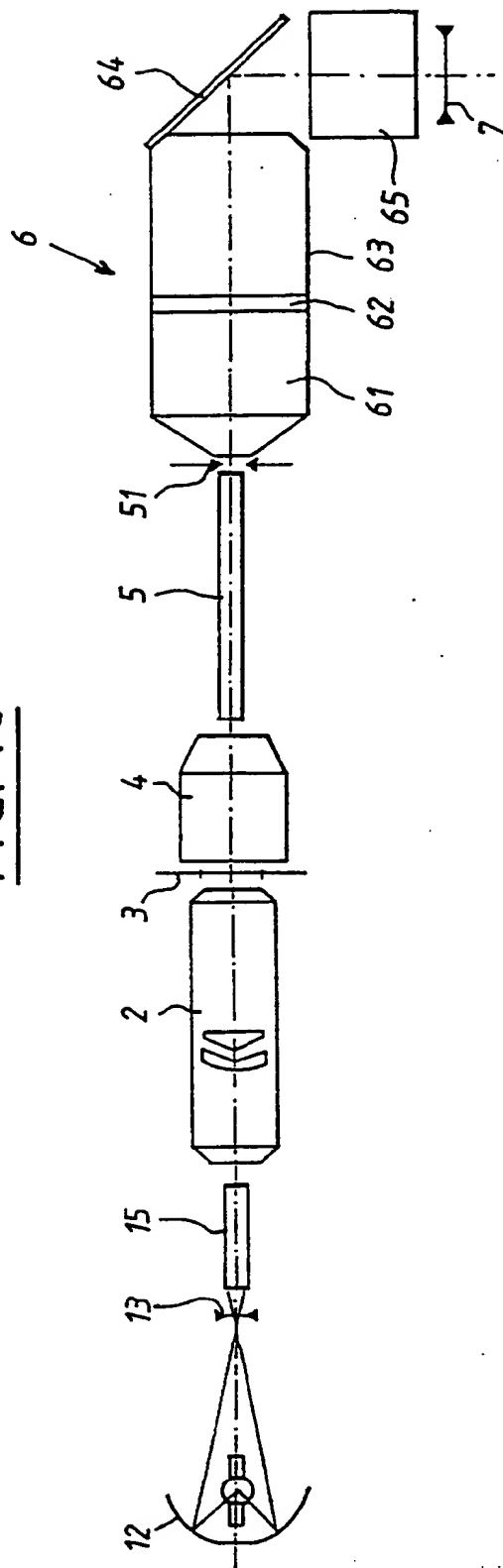


FIG. 4d

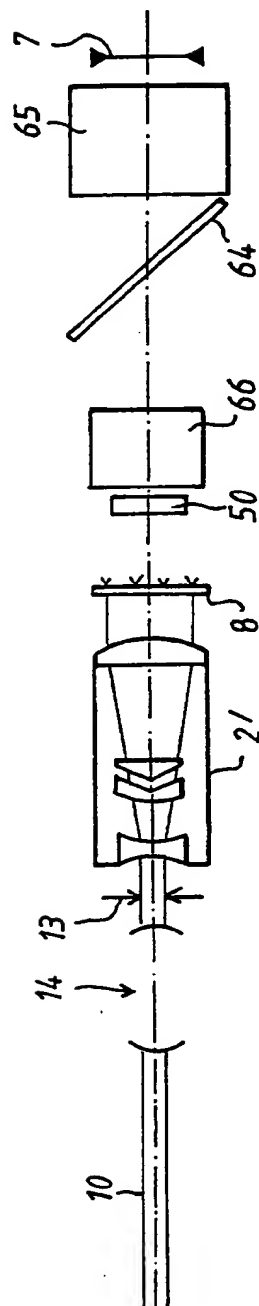
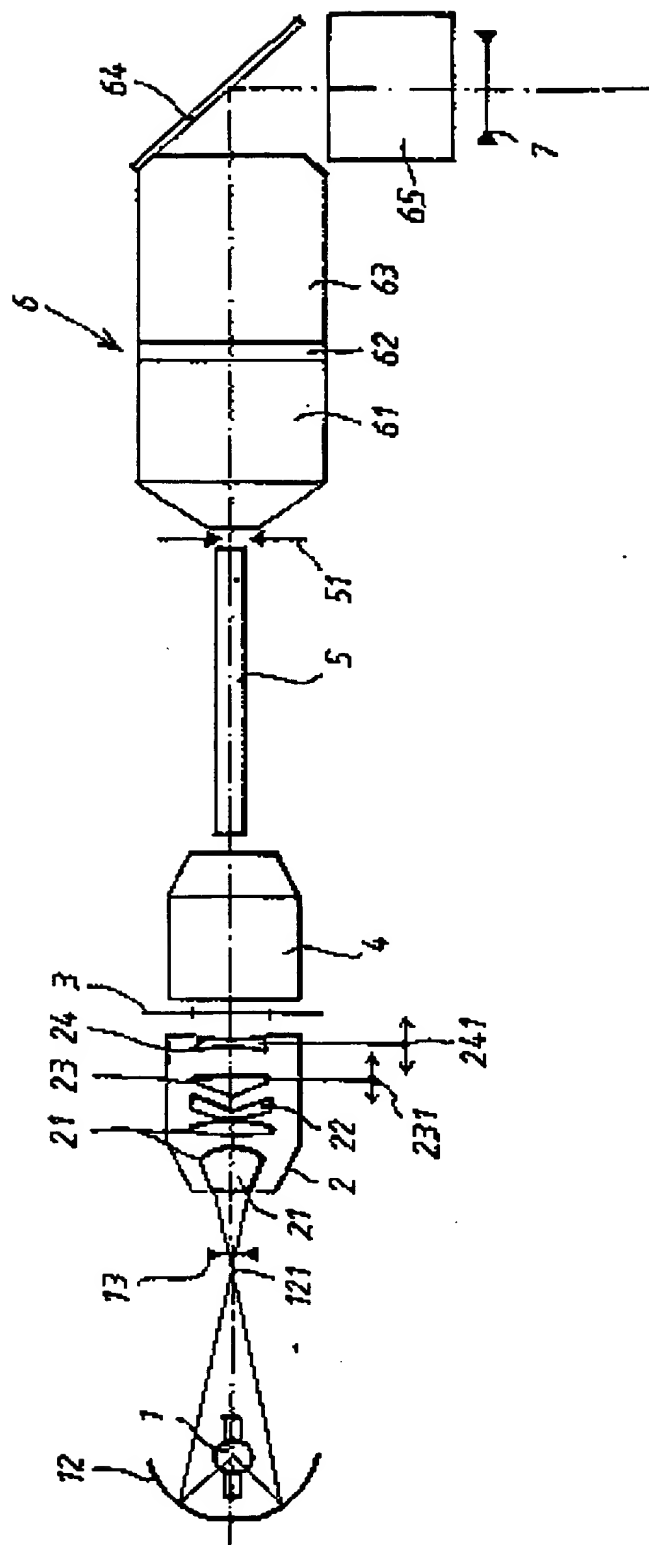


FIG. 1



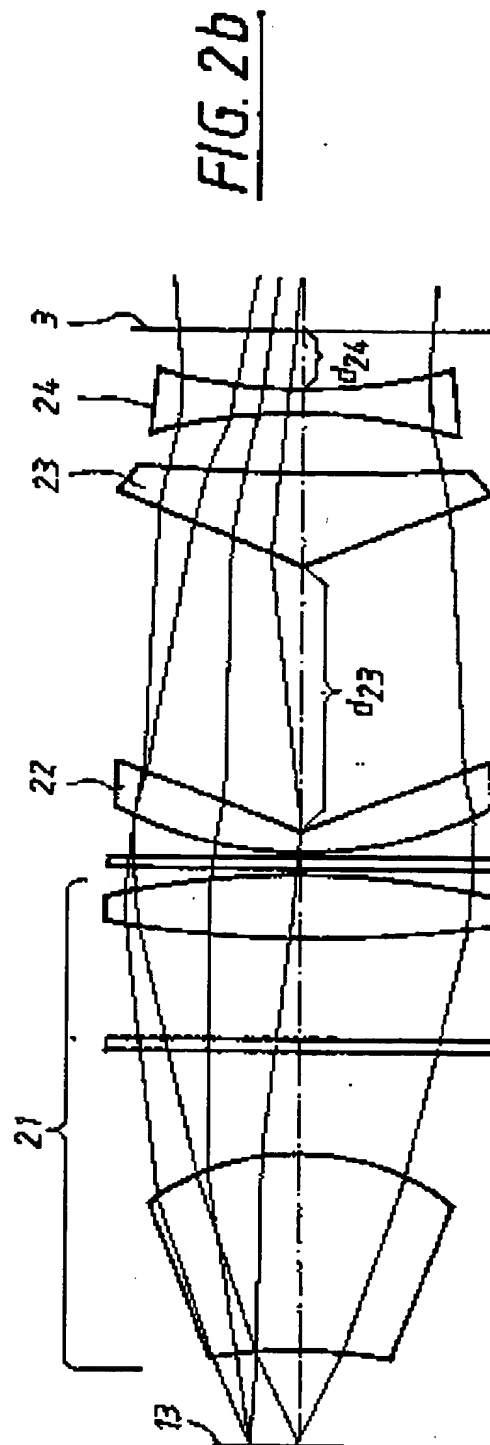
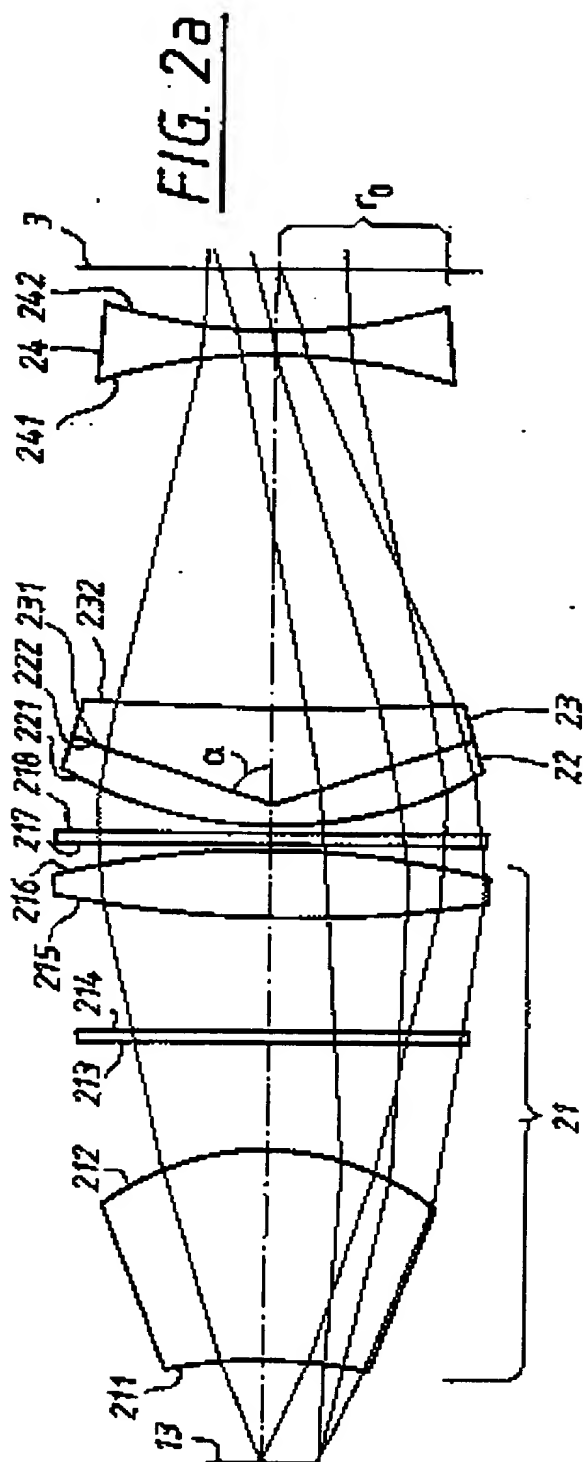


FIG. 3

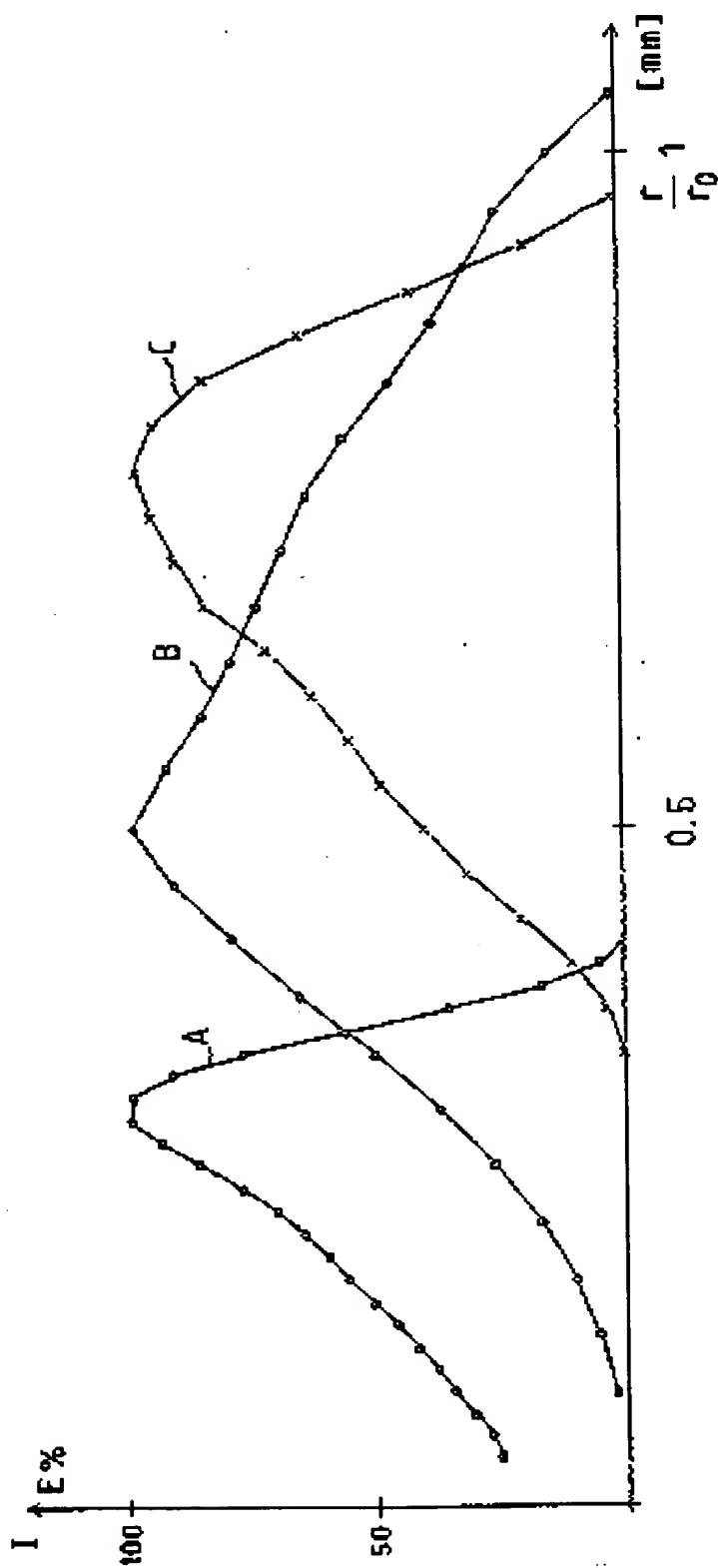


FIG. 4a

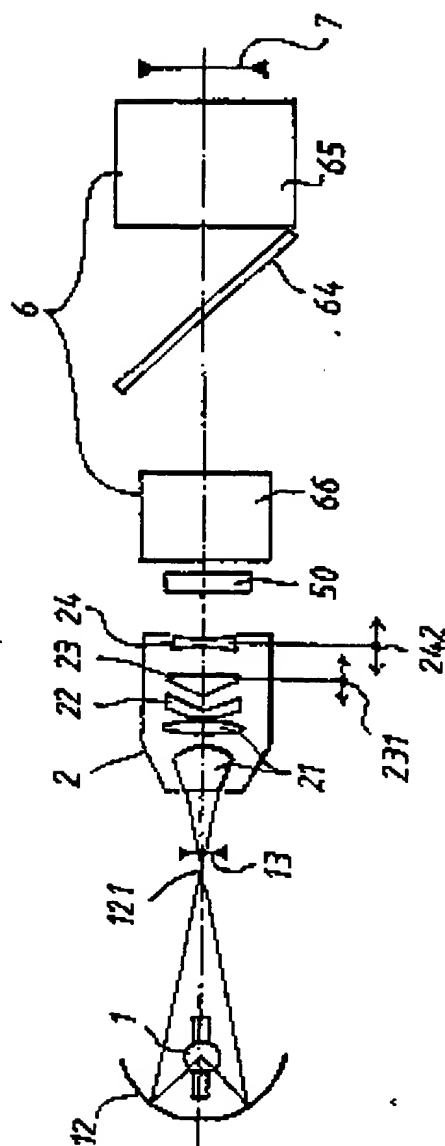


FIG. 4b

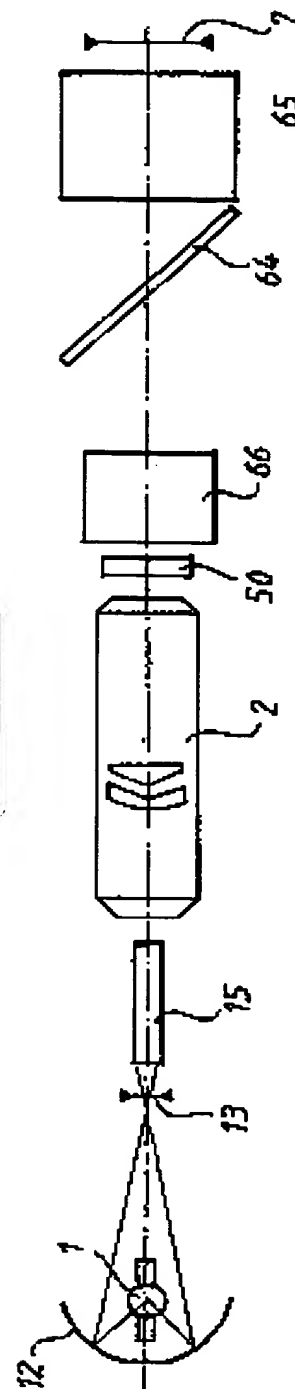


FIG. 4c

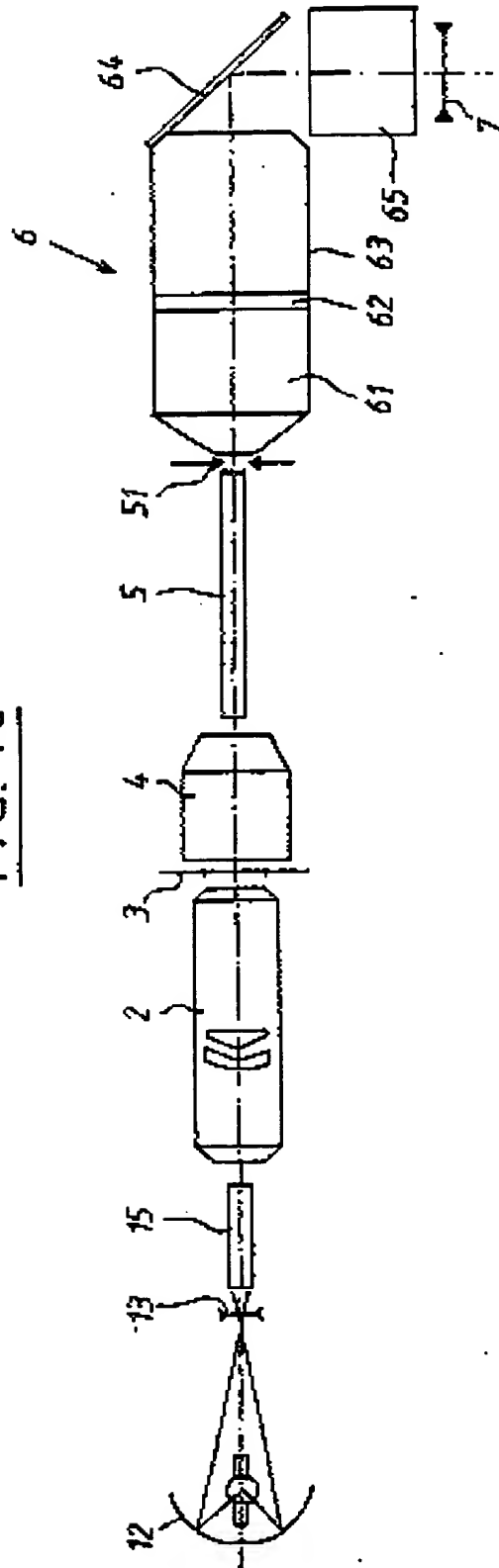


FIG. 4d

